

【補助事業概要の広報資料】

補助事業番号 23-164
補助事業名 平成23年度 超高真空における北川ダイアグラムの作成 補助事業
補助事業者名 北海道大学大学院 工学研究院 機械宇宙工学部門
材料機能工学研究室 教授 中村 孝

1 補助事業の概要

(1) 事業の目的

小型自動車を含む様々な機械に対する高出力化・軽量化の要求は年々厳しくなっており、これを実現するために高強度金属材料の利用が増大している。しかしこの種の材料に長期間繰返し荷重が加わると、材料内部から疲労き裂が発生し、突然破壊に至る問題が近年報告されるようになった。この現象は超高サイクル疲労破壊と呼ばれ、その強度評価手法を確立することが強く求められている。

本研究では、高強度金属の中で最も重要な機械材料のひとつである高強度鋼に着目し、内部起点型疲労破壊における強度評価手法の構築を試みることを目的とした。具体的には、内部き裂が大気から遮断された環境で微小な介在物を起点として発生することを模擬するために、人工欠陥を加工した高強度鋼の疲労試験を超高真空中で行った。その結果に基づき、超高真空における北川ダイアグラム（欠陥寸法と疲労強度の関係を示す線図（図1に概念図を示す））を作成した。

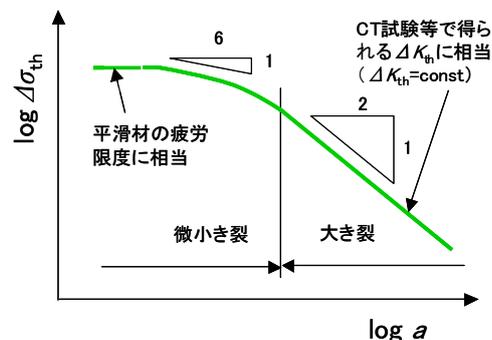


図1 北川ダイアグラムの一般的な概念図

(2) 実施内容

[超高真空における北川ダイアグラムの作成](http://mech-me.eng.hokudai.ac.jp/~material/index.html)

(<http://mech-me.eng.hokudai.ac.jp/~material/index.html>)

はじめに、15、30、100 μm の微小欠陥を付与した試験片を製作し、大気中および超高真空中（ $5 \times 10^{-7} \sim 9.0 \times 10^{-6} \text{Pa}$ の範囲）における軸荷重疲労試験を行った。図2に本研究で用いた超高真空疲労試験機の写真と概要を示す。

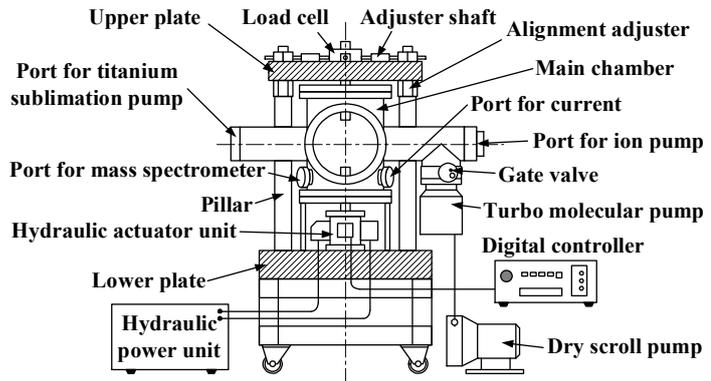


図2 超高真空疲労試験機

次に、大気と真空の2つの環境中における北川ダイアグラムを作成し、これらを比較した。また、破断時に材料から放出されるガス環境を本予算で取得した質量分析器（図7）を用いて測定し、表面および内部起点型破壊におけるき裂先端の周囲環境を検討した。以上の結果を総合し、内部起型疲労破壊の強度予測法について考察した。本研究で得られた主な知見を以下の①～④にまとめる。

- ①微小欠陥材における真空中の疲労寿命は欠陥寸法15, 30, 100 μm の全てにおいて、大気中のそれより増加した。また、これらの欠陥材における真空中の疲労限度は大気中のそれよりも低下した。この特徴は2段折れ曲がりに代表される高強度鋼の疲労特性と類似していた。（図3）

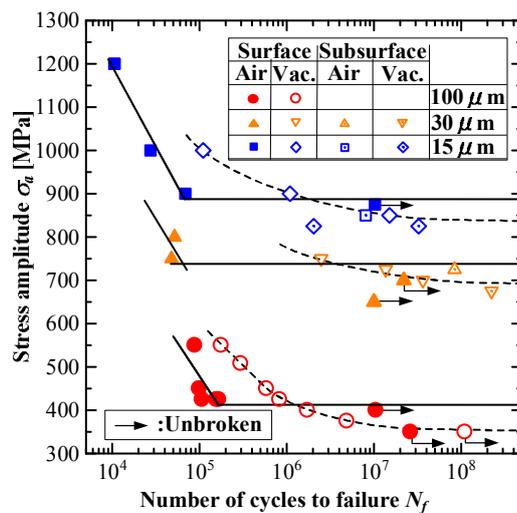


図3 大気中および真空中における微小欠陥材のS-N線図

② 超高真空中の北川ダイアグラムは大気中のそれより低疲労強度側に位置することが明らかとなった。(図4) この結果は、微小欠陥とみなせる箇所を起点とする場合、真空中の疲労限度は大気中よりも低下することを意味している。一般に大きな欠陥やき裂を起点とする場合、真空中の疲労限度は大気中よりも上昇することから、欠陥寸法の大きさにより真空と大気中の北川ダイアグラムは異なる傾向をもつことが明らかとなった。

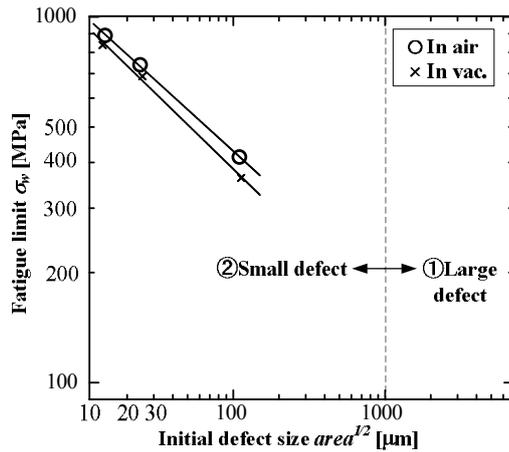
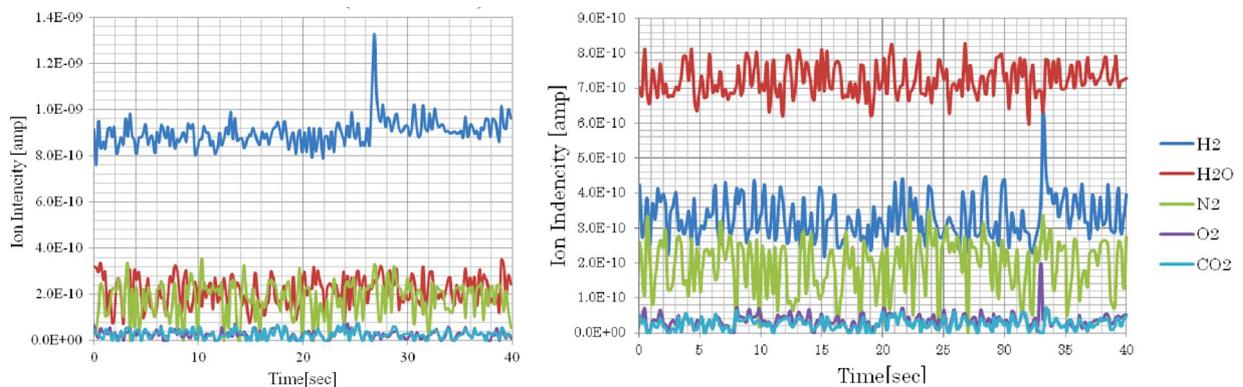


図4 本研究で取得した大気中および超高真空中における北川ダイアグラム

③ H_2 , H_2O , N_2 , O_2 , CO_2 に注目し、試験片が疲労破壊を生じた際に放出されるガスを表面起点型破壊、内部起点型破壊の両者について測定した。その結果、いずれの破壊形態においても H_2O , N_2 , O_2 , CO_2 の量に破断前後で有意な差は見られなかった。これに対し、 H_2 は破断の瞬間に明らかに増加することが明らかとなった。(図5) ただし、微小欠陥を起点とする場合と、内部の介在物を起点とする場合との間で、 H_2 の検出量に有意差は見られなかった。



(a) 表面起点型破壊 ($\sigma_a=850\text{MPa}$)

(b) 内部起点型破壊 ($\sigma_a=825\text{MPa}$)

図5 試験片破断時に検出された H_2

④微小欠陥材を用いた真空中の疲労試験結果と、平滑材において内部破壊を生じた疲労試験結果を、起点の初期応力拡大係数に基づいて比較した結果、真空中の疲労特性により内部破壊の疲労特性を良く模擬できることが示された。(図6)したがって、真空中における北川ダイアグラムをさらに広い欠陥寸法の範囲で詳しく調べることにより、内部起点型疲労破壊の強度評価法を構築できると考えられる。

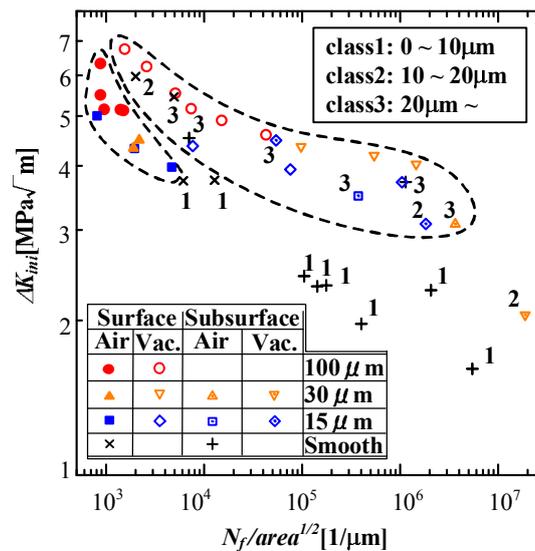


図6 起点の初期応力拡大係数を用いて整理した疲労試験結果

2 予想される事業実施効果

本研究は、超高真空中における北川ダイアグラムの概要を初めて明らかにしたものである。本研究によって、高強度鋼の内部起点型疲労破壊を解明する上で、内部き裂の周囲の環境（超高真空環境）に注目して検討することが有効であることが示された。この考えは、高強度鋼のみならず、チタン合金など内部起点型破壊を生じる材料の超高サイクル疲労を統一的に理解することにつながるものである。

一方、実験を行った初期欠陥のサイズは15, 30, 100μmの3種類であったため、今後、より広範囲の欠陥サイズについて同様な検討を行なうことが望まれる。特に、超高真空中におけるき裂の初期伝播・停留過程を直接観察し、大気と真空とで北川ダイアグラムに違いが現れる要因を明確にしていく必要がある。

今後、これらの検討を系統的に行なうことにより、高強度鋼を含む高強度金属材料に生じる内部起点型疲労破壊（超高サイクル疲労破壊）に対する疲労強度推定手法を開発し、小型自動車を含む様々な機械において、このタイプの破壊事故が生じないような強度設計法を提供することが可能になる。

3 本事業により作成した印刷物・本事業により導入した設備

[平成23年度小型自動車等機械工業振興事業に関する補助事業報告書](#)

[「超高真空における北川ダイアグラムの作成」](#)（平成24年2月）

(http://mech-me.eng.hokudai.ac.jp/~material/external_funds.html)

残留ガス質量分析装置 INFICON Transpector2 C100M

設置場所 北海道大学大学院 工学研究院 機械宇宙工学部門

材料機能工学研究室

本装置は四重曲型の質量分析器であり、真空チャンバー内に存在する気体分子をリアルタイムで測定することができる。質量範囲は1~100amuであり、水素からの軽元素も精度良く検出可能である。本研究では、試験片疲労破壊時に放出されるガスの測定に本装置を使用した。（図7）

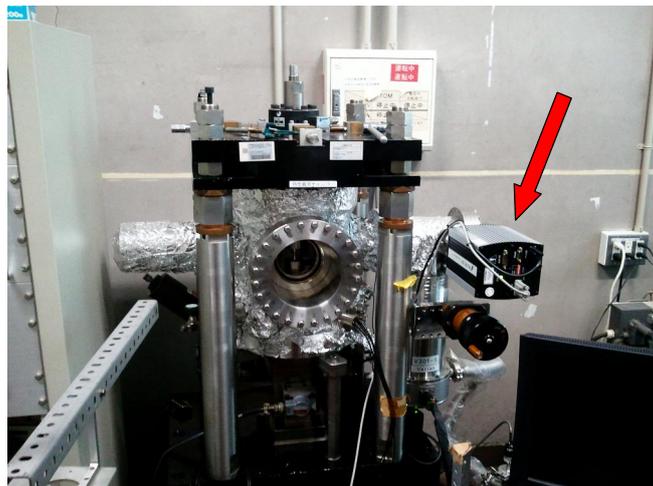


図7 本予算によって導入した質量分析器

4 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 北海道大学大学院 工学研究院 機械宇宙工学部門

材料機能工学研究室

住 所： 〒060-8628

札幌市北区北13条西8丁目

申請者： 役職名 教授 中村 孝（ナカムラ タカシ）

担当部署： 材料機能工学研究室

URL：<http://mech-me.eng.hokudai.ac.jp/~material/index.html>